

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE DAUER
DER ELEKTRISCHEN UND DER MECHANISCHEN SYSTOLE WÄHREND DER ARBEIT
BEI TRAINIERTEN UND UNTRAINIERTEN VERSUCHSPERSONEN

Christine Witzmann

geb. Uhlig

Berlin 1964



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Institut für Leistungsmedizin Berlin und der
Forschungsstätte für Sportmedizin im Institut für Leibeserziehung
der Freien Universität Berlin

Leiter: Professor Dr. med. Harald Mellerowicz

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE DAUER
DER ELEKTRISCHEN UND DER MECHANISCHEN SYSTOLE WÄHREND DER ARBEIT
BEI TRAINIERTEN UND UNTRAINIERTEN VERSUCHSPERSONEN



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Christine Witzmann
geb. Uhlig
aus Pirna/Sachsen

Mit Förderung durch das Kuratorium für sportmedizinische Forschung

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. med. Adalbert LOESCHKE
Referent: Professor Dr. med. Harald MELLEROWICZ
Korreferent: Professor Dr. med. Max SCHWAB

Promoviert am: 4. 11. 1964

INHALTSANGABE

- I) Einleitung
- II) Problemstellung
- III) Methodik
(Untersuchungsgut, Untersuchungsbedingungen, statistische Berechnung, Kritik der Methodik)
- IV) Darstellung der Untersuchungsergebnisse
 - 1) Tabellarische Zusammenstellung der aufgezeichneten Werte
 - a) von 30 trainierten Versuchspersonen
 - b) von 30 untrainierten Versuchspersonen
 - 2) Zusammenstellung der Differenzen der QT- und QH₂-Strecken in den einzelnen Ruhe-, Arbeits- und Erholungsphasen
 - 3) Statistische Errechnung der arithmetischen Mittelwerte, der mittleren quadratischen Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert ($\bar{x}$) und der 2 σ -Grenzen für bestimmte Zeitpunkte während der Ruhe, Leistung und Erholung. Graphische Darstellung
 - 4) Errechnung der Verkürzung nach der 1. Arbeitsminute und der maximalen Verkürzung der elektrischen und mechanischen Systole
 - 5) Vergleich der Werte QT und QH₂ nach 3 Minuten Erholung mit den Ruhewerten
 - 6) Frequenzabhängigkeit der elektrischen und mechanischen Systole in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe und Leistung. Vergleich mit den Normwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷
- V) Beurteilung der Untersuchungsergebnisse
- VI) Zusammenfassung
- VII) Literaturangaben

1) EINLEITUNG

Umfassende Untersuchungen über die zeitliche Dauer der elektrischen und mechanischen Systole wurden von HEGGLIN⁵ durchgeführt und im Jahre 1947 mitgeteilt.

Anhand von 1000 ausgewerteten Elektrokardiogrammen stellt er fest, daß beim kreislaufgesunden Menschen unter physiologischen Bedingungen mechanische und elektrische Systole annähernd gleiche Zeitdauer aufweisen.

Folgende prozentuale Aufteilung wird von ihm angegeben:

in 55,6 % fielen Ende der T-Welle und 2. Herzton genau zusammen

in 32,0 % betrug die Abweichung bis 0,02 sec.

in 12,4 % betrug diese mehr als 0,04 sec.

Dabei errechnet sich der Sollwert der Distanzen QT und QH₂ nach der von ihm aufgestellten Formel:

$$S = 3,9 \sqrt{RR} \pm 0,04 \text{ sec.}$$

($S = QT \sim QH_2$, $RR = \text{Dauer der Herzphasen in sec/100}$)

In diesem Zusammenhang weist HEGGLIN^{5,6} darauf hin, daß schwere allgemeine Stoffwechselstörungen mit zeitlichen Veränderungen der elektrischen und mechanischen Systole einhergehen können, so daß sich die Möglichkeit ergibt, aus derartigen Elektrokardiogrammen und synchron geschriebenen Phonokardiogrammen Stoffwechselerkrankungen zu diagnostizieren.

Eine Verkürzung der Distanz QH₂ um mehr als 0,04 sec. des Sollwertes bei gleichzeitiger Verlängerung von QT deutet er als Ausdruck der "energetisch-dynamischen Herzinsuffizienz".

LEPESCHKIN¹⁴, der unter etwa gleichen Versuchsbedingungen ebenfalls 1000 Elektrokardiogramme auswertete, erzielte ähnliche Ergebnisse. Zusammenfassend stellt er fest, daß mit einer physiologischen Schwankungsbreite von 0,03 sec. der 2. Herzton mit dem Ende der T-Welle einsetzt. Im einzelnen gibt er folgende Verteilung an:

bei 88 % zeigt sich eine Differenz unter 0,02 sec.,

in 8 % eine Differenz von 0,02 - 0,04 sec.,

in 6 % eine Differenz über 0,04 sec.

Besonders wird von ihm die Frequenzabhängigkeit hervorgehoben. Er betont, daß mit steigender Herzfrequenz die Dauer der Systole im Gegensatz zur Diastole eine geringere Verkürzung aufweist.

Zum gleichen Problem - kann man von einer Relation zwischen zeitlicher Dauer der Systole und Herzfrequenz sprechen - wird wiederum von HEGGLIN zusammen mit HOLZMANN⁷ Stellung genommen. Nach ihren Untersuchungen läßt sich bei

steigender Herzfrequenz eine Verkürzung der elektrischen Systole registrieren. Die Abhängigkeit der Systolendauer von der jeweiligen Herzfrequenz ist von obigen Autoren tabellarisch zusammengefaßt worden.

Gesetzmäßigkeiten im zeitlichen Ablauf zwischen elektrischer und mechanischer Systole unter physiologischen Bedingungen werden auch von KÜHNS^{12, 13}, beschrieben. Er zeigt, daß ebenso wie die QT-Zeit auch die mechanische Systole frequenzabhängig ist. Mit steigender Herzfrequenz verkürzen sich beide Meßgrößen. Ausdruck der zeitlichen Beziehungen zwischen elektrischer und mechanischer Systole ist der von ihm angegebene Systolenquotient:

$$S = \frac{Q - 2. \text{ Herzton}}{QT}$$

Bei hohen Herzfrequenzen wird der Systolenquotient kleiner, das heißt, daß in der Regel die mechanische Systole kürzer wird als die elektrische.

HERZUM⁹, der die QT-Dauer nach Belastungsproben bestimmte, findet, daß auch bei Wettkampfsportlern der Abstand QT nicht von den bekannten Normalwerten abweicht. Meisterschaftssportler haben bei einer Herzfrequenz von 64 Schlag pro Minute einen QT-Mittelwert von 0,362 sec.

Auf Grund umfassender Untersuchungen von Belastungselektrokardiogrammen sprechen sich HERKEL und NÜRNBERGER⁸ ebenfalls für eine Frequenzabhängigkeit von elektrischer und mechanischer Systole aus. Während die Mittelwerte von QT und QH₂ innerhalb einer bestimmten Versuchsgruppe weitgehend übereinstimmen, zeigt sich bei den Einzelwerten eine relativ große Streubreite.

Versuche, die unter der Einwirkung von Pharmaca (Calcium, Veritol) vorgenommen wurden, ließen kein einheitliches Verhalten von mechanischer zu elektrischer Systole erkennen.

Eine etwa gleichsinnige Verkürzung von QT und QH₂ bei Belastung wird von BORTER und MÜLLER³ angegeben. Sie heben hervor, daß in den hohen Frequenzklassen eine stärkere Verkürzung der mechanischen Systole eintritt. In Versuchsreihen mit gesunden und kranken Probanden ließen sich signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen bezüglich der Systolendauer nicht auffinden.

Nach Meinung verschiedener Untersucher (GROSSE-BROCKHOFF und STRONTMANN⁴, BEURICH u. MAAß¹, BLUMBERGER² sowie SCHÜTZ¹⁷ und weitere Autoren) kann man von einheitlichen Beziehungen zwischen elektrischer und mechanischer Systole nicht sprechen.

Den Messungen sämtlicher aufgeführter Autoren liegen einfache Belastungsprüfungen (Treppensteigen, Kniebeugen etc.) zugrunde, dem gegenüber betont

MELLEROWICZ¹⁵, daß die Voraussetzung für vergleichbare Meßergebnisse eine physikalisch definierte Leistung ist. Am geeignetsten erscheint die Bestimmung der Leistung durch Ergometrie.

II) PROBLEMSTELLUNG

In vorliegender Arbeit werden folgende Fragen untersucht:

- 1) Welche Veränderungen zeigt die Dauer der elektrischen und der mechanischen Systole während bestimmter ergometrisch gemessener Leistung?
- 2) Wie groß sind die Mittelwerte, die mittlere quadratische Abweichung und der $\pm 2\sigma$ -Bereich der elektrischen und mechanischen Systole während und nach einer Leistung von 1 Watt/kg?
- 3) Welchen Einfluß hat das Training auf elektrische Erregung und mechanische Funktion des Herzens bei bestimmter körperlicher Leistung?

Wie JAEGER u. BORTER¹¹ definieren wir die Begriffe der elektrischen und mechanischen Systole nach SCHAEFER¹⁶:

"Unter elektrischer Systole versteht man die Dauer der elektrischen Erregung der Herzkammer, gemessen als QT-Strecke im Elektrokardiogramm."

"Unter mechanischer Systole versteht man die Dauer der hämodynamischen Herzkontraktion, gemessen als QH₂-Abstand im gleichzeitig aufgenommenen Elektrokardiogramm und Phonokardiogramm."

Die Kenntnis der $\pm 2\sigma$ -Grenzen der elektrischen und der mechanischen Systole ist die Voraussetzung für die Erfassung von Abweichungen, die nicht mehr als physiologisch anzusehen sind. Pathologische Veränderungen von QT und QH₂ können möglicherweise während und nach einer Leistung früher erkennbar werden als in Körperruhe.

Sportler haben, in Abhängigkeit vom Trainingszustand, bei gleicher Leistung im Vergleich zu Untrainierten niedrigere Herzfrequenzen und erreichen in den Erholungsphasen schneller wieder die Ruhewerte. Wir erwarten beim Leistungssportler nach längerem Training die Entwicklung eines großen Leistungsherzens mit Herzschlagfrequenzen in Ruhe zwischen 40 und 60 Schlag/Minute.

Im Ruhe-Elektrokardiogramm zeigt sich ein bradykarder Sinusrhythmus und eine Verlängerung der Erregungsleitung im Elektroatriogramm und Elektroventrikulogramm, die oft über die frequenzabhängigen Normwerte hinausgehen. Auch die Zeit der Diastolen ist meist erheblich verlängert. Nicht sicher bekannt sind jedoch bisher das zeitliche Verhalten der elektrischen Erregung und der mechanischen Systole des trainierten Herzens bei physikalisch definierter Leistung.

III) METHODIK

- 1) Untersuchungsgut
- 2) Untersuchungsbedingungen
- 3) Statistische Berechnung
- 4) Kritik der Methodik

1) Untersuchungsgut

Untersucht wurden zwei Gruppen gesunder Männer im Alter von 20 - 40 Jahren.

Die erste Gruppe bildeten 30 Studenten, die anamnestisch und klinisch herz- und kreislaufgesund waren. Diese Studenten hatten in den letzten Jahren keinerlei Sport betrieben und konnten somit sportmedizinisch als untrainiert angesehen werden.

Zur zweiten Gruppe gehörten 30 Leistungssportler. Sie waren nach anamnestischen Angaben und klinischen Untersuchungsbefunden herz- und kreislaufgesund. Diese Sportler befanden sich in gutem Trainingszustand. Zur Untersuchung herangezogen wurden besonders Sportler, die ein Ausdauertraining betrieben wie z. B. Radfahren, Rudern, Langstreckenlauf. Die durchschnittliche Trainingszeit dieser Sportler betrug 6 Stunden in der Woche, trainiert wurde seit durchschnittlich 7 Jahren. Die Versuchspersonen lebten unter annähernd gleichen Bedingungen in der Großstadt. Sie waren reine Amateure, hatten unterschiedliche Berufe und kamen aus verschiedenen sozialen Verhältnissen. Untersucht wurde nach Beendigung der normalen Arbeitszeit.

Zusammenstellung der Leistungssportler:

Nr. 1	Leichtathlet,	8 Jahre Training, 2 x 1-2 Std. /Woche, 1000 m Lauf
Nr. 2	Leichtathlet,	5 Jahre Training, 3 x 2 Std. /Woche, 20 Wettkämpfe im 3000 m Lauf
Nr. 3	Leichtathlet,	4 Jahre Training, 2 x 1-2 Std. /Woche, 10 Wettkämpfe im 1000 und 3000 m Lauf
Nr. 4	Leichtathlet,	8 Jahre Training, 3 x 2 Std. /Woche, Wettkämpfe im 1000 und 3000 m Lauf
Nr. 5	Leichtathlet,	5 Jahre Training, 4 x 2-4 Std. /Woche, Langstreckenlauf und Kurzstreckenläufe
Nr. 6	Sportstudent,	4 Jahre allgemeines Training, 6 Std. /Woche
Nr. 7	Ruderer,	6 Jahre Training, 6 x 3 Std. /Woche 30 Wettkämpfe
Nr. 8	Leichtathlet,	7 Jahre Training, 3 x 1 Std. /Woche Wettkämpfe im 1000 und 3000 m Lauf
Nr. 9	Leichtathlet, Turner,	10 Jahre Training, 3 x 2 Std. /Woche 70 Wettkämpfe

Nr. 10	Schwimmer,	8 Jahre Training, unregelmäßig
Nr. 11	Radrennfahrer,	3 Jahre Training, 2 x 120 km/Woche 60 - 70 Wettkämpfe
Nr. 12	Sportlehrer,	6 Jahre Training, 1 x 2 Std. /Volleyball/Woche tägl. 1 Std. Schwimmen
Nr. 13	Radrennfahrer,	5 Jahre Training, 2 x 4 Std. /Woche 30 Wettkämpfe über 100 km
Nr. 14	Radrennfahrer,	8 Jahre Training, 2 x 5 Std. /Woche 250 Wettkämpfe über 130 km
Nr. 15	Radrennfahrer,	6 Jahre Training, 2 x 80 km/Woche 150 Wettkämpfe über 130 km
Nr. 16	Radrennfahrer,	6 Jahre Training, 2 x 3 Std. /Woche 200 Wettkämpfe über 100 km
Nr. 17	Sportstudent,	6 Jahre Training, 2 x 3 Std. /Woche Handball, 20 Wettkämpfe im 100 u. 400 m Lauf
Nr. 18	Radrennfahrer,	9 Jahre Training, 2 x 100 km/Woche 50 Wettkämpfe jährlich über 75 km
Nr. 19	Radrennfahrer,	7 Jahre Training, 2 x 4 Std. /Woche 200 Wettkämpfe über 100 und 200 km
Nr. 20	Schwimmer,	17 Jahre Training, 5 x 1 Std. /Woche Wettkämpfe 100 und 200 m
Nr. 21	Ruderer,	5 Jahre Training, 2 Std. /Tag 20 Wettkämpfe
Nr. 22	Ruderer,	4 Jahre Training, 2 Std. /Tag
Nr. 23	Radrennfahrer,	6 Jahre Training, 2 x 2 Std. /Woche Wettkämpfe über 100 km
Nr. 24	Ruderer,	6 Jahre Training, 2 Std. /Tag mehrere Wettkämpfe
Nr. 25	Ruderer,	13 Jahre Training, 4 x 2 Std. /Woche
Nr. 26	Radrennfahrer,	9 Jahre Training, 3 x 5 Std. /Woche
Nr. 27	Radrennfahrer,	4 Jahre Training, 2 x 2 Std. /Woche 100 Wettkämpfe über 100 km
Nr. 28	Leichtathlet,	6 Jahre Training, 4-6 x 1-2 Std. /Woche
Nr. 29	Schwimmer,	9 Jahre Training, 3 x 1 Std. /Woche Wettkämpfe über 100, 200 und 400 m
Nr. 30	Leichtathlet, Turner,	5 Jahre Training, 2 x 2 Std. /Woche

Verteilung nach Sportarten:

Sportart:	Anzahl:
Radrennfahrer	10
Leichtathleten	9
Ruderer	5

Sportart:	Anzahl:
Schwimmer	3
Sportstudenten	2
Sportlehrer	1

2) Untersuchungsbedingungen

Die Untersuchungen fanden in der Zeit von September 1959 bis April 1960 in der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle in Berlin statt und zwar vorwiegend in den Nachmittagsstunden zwischen 13 - 16 Uhr oder in den frühen Abendstunden gegen 18 Uhr. Die Raumtemperatur betrug 18 - 25 Grad Celsius, die relative Luftfeuchtigkeit 30 - 60 %.

Nach 10 Minuten horizontaler Ruhelage wurden Ruhepuls, systolischer und diastolischer Blutdruck bestimmt und ein Ruhe-Elektrokardiogramm und Ruhe-Phonokardiogramm aufgezeichnet. Registriert wurde mit einem Hellige-Fünffach-Elektrokardiographen. Aufgezeichnet wurden im Elektrokardiogramm die Extremitätenableitungen I und II und das Phonokardiogramm bei folgenden Frequenzen: $t = 35 \text{ Hz}$; $m_1 = 70 \text{ Hz}$; $m_2 = 140 \text{ Hz}$.

Die Papiergeschwindigkeit betrug 100 mm/sec.

Die Aufzeichnungen erfolgten unter Ruhebedingungen, nach 1 Minute Arbeit, nach 3 Minuten Arbeit, nach 1 Minute Erholung und nach 3 Minuten Erholung. Die Arbeit wurde liegend mittels eines Fußkurbelergometers (Dargatz-Wirbelstromergometer mit einer doppelten Fußkurbellänge von 33,3 cm) verrichtet.

Die Messungen wurden während der Leistungen durchgeführt.

Die auf das Körpergewicht bezogene relativ gleich groß geforderte Leistung betrug 1 Watt/kg Körpergewicht bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 35 Drehungen pro Minute. Die Umdrehungsgeschwindigkeit konnte von der Versuchsperson durch eine gut sichtbar angebrachte Uhr kontrolliert werden.

Die Armelektroden des Elektrokardiogramm wurden wie üblich an den Unterarmen angelegt, die Beinelektroden und die indifferenten Elektroden aus technischen Gründen am Abdomen rechts und links unterhalb des Nabels. Die Elektroden blieben während der Arbeit befestigt.

Das Mikrophon zur Aufzeichnung des Herzschalls wurde auf dem Sternum am Ansatz von Costa II links an einer markierten Stelle mit jeweils gleichem Druck aufgesetzt.

Ausgewertet wurde die QT-Strecke im Elektrokardiogramm und die QH₂-Strecke im gleichzeitig aufgenommenen Phonokardiogramm von 30 trainierten und 30 untrainierten Versuchspersonen.

Bei der Messung der QT-Strecke richteten wir uns wie JAEGER und BORTER¹¹ nach der 1952 von Lepeschkin aufgestellten Definition der QT-Strecke:

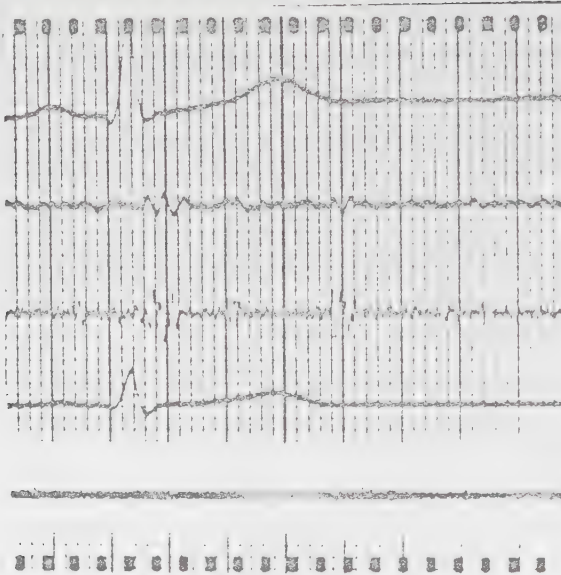
"Die QT-Strecke eines Kammerkomplexes reicht grundsätzlich vom frühesten Beginn der Q-Zacke bis zum spätesten Ablauf der T-Welle in irgendeiner der synchronen Ableitungen."

Ausgewertet wurde das Mittel aus 5 einwandfrei geschriebenen Frequenzabläufen.

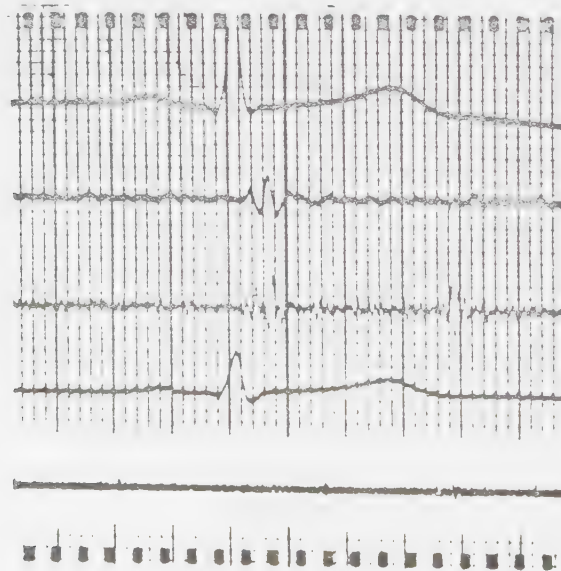
Übereinstimmend mit JAEGER und BORTER¹¹ haben wir die QH₂-Strecke vom frühesten Beginn der Q-Zacke bis zum ersten Beginn des 2. Herztones in einer der synchronen Ableitungen gemessen. Im Zweifelsfalle wurden die Kurven mit den niederen Frequenzen gewählt. Auch hier wurde das Mittel aus 5 einwandfrei geschriebenen Frequenzabläufen ausgewertet.

Meßmethode erläutert an einem Beispiel:

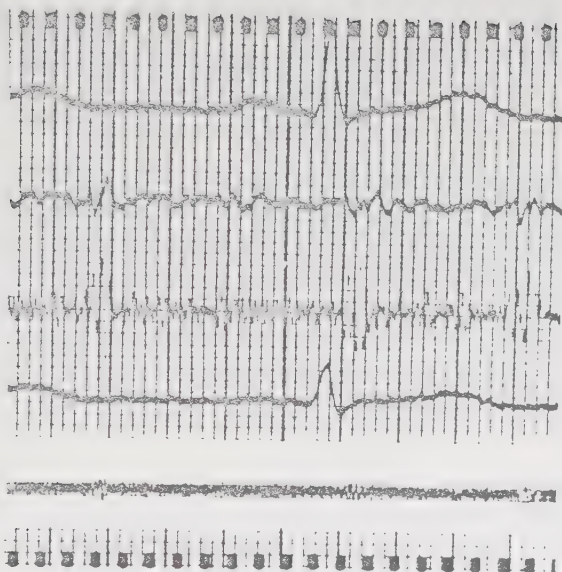
1. Ekg und Pkg in Ruhe:



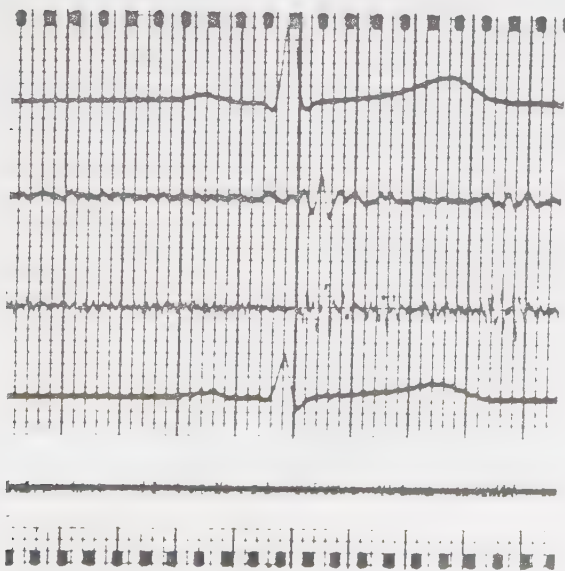
2. Ekg und Pkg nach 1 Min. Arbeit:



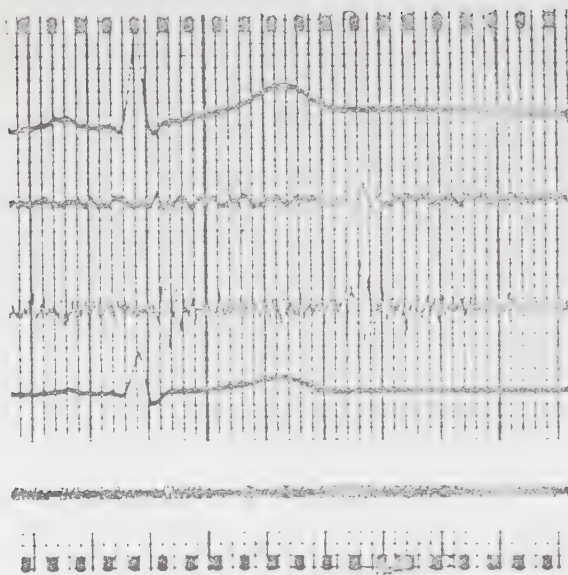
3. Ekg und Pkg nach 3 Min. Arbeit;



4. Ekg und Pkg nach 1 Min. Erholung



5. Ekg und Pkg nach 3 Min. Erholung:



3) Statistische Berechnung

Bei der statistischen Auswertung des Untersuchungsgutes wurden die Mittelwerte der einzelnen Vergleichsreihen berechnet nach der Formel:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Die mittlere Abweichung vom Durchschnittswert beträgt:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{(M-x_1)^2 + (M-x_2)^2 + \dots + (M-x_n)^2}{n}}$$

Die Differenzen der Vergleichsreihen wurden auf ihre statistische Signifikanz geprüft nach der Formel:

$$\sigma_{\text{Diff.}} = \sqrt{\sigma^2 M_1 + \sigma^2 M_2}$$

Dabei liegt ein statistisch gesicherter Unterschied dann vor, wenn die Differenz der Mittelwerte zweier Vergleichsreihen größer als 3 $\sigma_{\text{Diff.}}$ ist. Mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,27 % gilt der Unterschied als statistisch gesichert.

4) Fehlerquellen und Kritik der Methodik

Bei der Bestimmung von QT, QH₂ und QT-QH₂ treten nach JAEGER u. BORTER¹¹ folgende größtmögliche Meßfehler auf:

für QT	=	$\pm$	3 sec. /100
für QH ₂	=	$\pm$	1 sec. /100
für QT-QH ₂	=	$\pm$	4 sec. /100

Die größte Fehlerquelle liegt in der Messung der QT-Strecke. Die T-Welle zeigt große Variabilität, nicht nur bei den verschiedenen Versuchspersonen, sondern auch bei den einzelnen Ableitungen einer Person. Der genaue Punkt, an dem die T-Welle zur 0-Linie zurückkehrt, ist teilweise nicht eindeutig zu erkennen. Um diese Fehlermöglichkeit zu verringern, wählten wir jeweils das Mittel aus 5 einwandfrei aufgezeichneten Frequenzabläufen. JAEGER u. BORTER¹¹ nahmen die Messungen der erwähnten Strecke durch 3 erfahrene Untersucher vor. Sie erhielten bei dem gleichen Kammerkomplex Abweichungen bis zu 2-3 sec. /100 je nach Form der T-Welle.

Bei unseren Versuchen wurden Elektrokardiogramm und Phonokardiogramm nach 1 und 3 Minuten Arbeit während der Leistung aufgenommen. Die Kurvenschreibung ist dadurch verständlicherweise nicht so exact wie bei Aufzeichnungen in Ruhe.

Der so entstandene Fehler ist aber geringer als ein Fehler, der bei Arbeitsunterbrechung zur Messung aufgezeichnet wird.

Herzschlagfrequenz und davon abhängig die Systolendauer entsprachen nicht den wahren Ruhewerten. Die Untersuchungen konnten aus technischen Gründen nicht nach der Nachtruhe vorgenommen werden. Die Untersuchungspersonen kamen am Nachmittag oder in den frühen Abendstunden vom Arbeitsplatz zur Untersuchung. Die Herzschlagfrequenz liegt um diese Zeit entsprechend der Tagesrhythmik des Kreislaufes und durch die Belastungen eines normalen Arbeitstages höher als am Morgen.

IV) DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

- 1) Tabellarische Zusammenstellung der aufgezeichneten Werte
 - a) von 30 trainierten Versuchspersonen,
 - b) von 30 untrainierten Versuchspersonen.
- 2) Zusammenstellung der Differenzen der QT- und QH₂-Strecke in den einzelnen Ruhe-, Arbeits- und Erholungsphasen.
- 3) Statistische Errechnung der arithmetischen Mittelwerte, der mittleren quadratischen Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert ($\bar{x}$) und der 2 σ -Grenzen für bestimmte Zeitpunkte während der Ruhe, Leistung und Erholung.
Graphische Darstellung.
- 4) Errechnung der Verkürzung nach der 1. Arbeitsminute und der maximalen Verkürzung der elektrischen und der mechanischen Systole.
- 5) Vergleich der Werte QT und QH₂ nach 3 Minuten Erholung mit den Ruhewerten.
- 6) Frequenzabhängigkeit der elektrischen und mechanischen Systole in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe und Leistung. Vergleich mit den Normwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷.

1) Tabellarische Zusammenstellung der Werte von

a) 30 trainierten Versuchspersonen für bestimmte Zeitpunkte während der Leistung und Erholung:

Nr./Name	Geb. Datum	Puls			RR			Watt			Ruhe			1. Arbeit			3. Arbeit			1. Erholung			3. Erholung		
		Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D
1. H. Sch.	5. 4. 28	48	140	100	48	44	44	-	60	37	35	-2	58	34	34	-	60	38	40	+2	52	44	44	-	
2. U. Fr.	6. 7. 40	60	125	70	60	38	38	-	64	34	33	-1	68	31	32	+1	60	33	36	+3	60	37	39	+2	
3. M. Ro.	17. 7. 30	59	120	80	59	39	39	-	62	34	34	-	66	33	33	-	60	36	36	-	60	40	39	-	
4. H. Sy.	13. 10. 33	64	125	80	64	34	36	+2	68	32	32	-	68	32	32	-	61	34	34	-	60	36	36	-	
5. W. Pe.	21. 7. 38	49	125	70	49	42	40	-2	62	38	38	-	68	36	36	-	58	40	40	-	50	42	40	-2	
6. W. Ke.	28. 12. 24	52	145	80	52	42	42	-	78	32	34	+2	80	36	36	-	59	39	39	-	58	42	45	+3	
7. E. Wi.	22. 2. 33	56	130	70	56	42	44	+2	60	36	39	+3	84	38	38	-	60	38	40	+2	59	39	40	+1	
8. H. Sch.	6. 9. 33	60	120	50	60	38	40	+2	86	33	33	-	86	34	34	-	78	36	38	+2	66	38	40	+2	
9. D. Pu.	26. 6. 39	55	115	60	55	40	42	+2	79	36	37	+1	86	35	36	+1	60	38	40	+2	59	40	40	-	
10. G. Un.	23. 11. 38	64	135	60	64	38	36	-2	84	34	34	-	100	34	34	-	54	37	39	+2	55	38	38	-	
11. J. Ve.	18. 6. 39	58	100	70	58	36	36	-	68	30	30	-	84	30	30	-	76	33	33	-	62	36	36	-	
12. B. Be.	7. 11. 35	54	135	75	54	40	40	-	62	35	35	-	68	33	33	-	61	37	38	+1	55	40	40	-	
13. Kl. J. Ie.	4. 7. 38	51	130	60	51	44	44	-	88	37	37	-	78	36	36	-	50	41	41	-	48	44	44	-	
14. O. Br.	17. 7. 28	49	125	60	49	40	40	-	68	35	35	-	88	34	35	+1	52	40	40	-	58	40	40	-	
15. H. Pie.	23. 7. 25	43	140	70	43	45	45	-	84	40	40	-	80	39	39	-	54	42	42	-	40	45	45	-	

Puls in Minutenfrequenz, RR = Syst. u. diast. Blutdruck in mm/Hg
 QT und QH₂ in 1/100 sec., D = Differenz QT/QH₂, Watt = Watt/kg Körpergewicht

Nr/Name	Geb. Datum	Puls	RR	Watt	Ruhe			1. Arbeit			3. Arbeit			1. Erholung			3. Erholung							
					Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D				
16. C. Sch.	12. 8. 36	56	$\frac{135}{70}$	60	56	39	39	-	66	35	36	+1	88	35	36	+1	86	36	38	+2	56	37	39	+2
17. G. De.	7. 4. 37	58	$\frac{120}{80}$	70	58	39	41	+2	94	34	36	+2	94	34	34	-	54	38	40	+2	54	40	42	+2
18. J. We.	18. 3. 38	51	$\frac{140}{70}$	90	51	41	41	-	94	37	37	-	96	34	34	-	60	38	36	-2	56	40	40	-
19. J. Bö.	23. 3. 36	40	$\frac{115}{85}$	70	40	42	44	+2	82	36	38	+2	74	34	34	-	50	39	41	+2	46	42	43	+1
20. K. Rl.	15. 9. 35	56	$\frac{135}{75}$	70	56	36	39	+3	58	34	37	+3	86	35	36	+1	56	34	36	+2	56	37	39	+2
21. K. Kr.	16. 4. 34	54	$\frac{115}{70}$	80	54	39	41	+2	97	35	36	+1	88	34	36	+2	64	35	37	+2	59	38	41	+3
22. R. Al.	1. 7. 38	62	$\frac{140}{80}$	80	62	38	38	-	90	32	32	-	80	32	32	-	68	36	36	-	64	36	36	-
23. Jo. Wl.	26. 6. 25	51	$\frac{100}{90}$	70	51	38	40	+2	65	35	35	-	83	33	33	-	60	34	36	+2	56	36	38	+2
24. L. Sp.	24. 10. 38	51	$\frac{110}{75}$	70	51	40	40	-	62	36	36	-	67	35	35	-	54	39	39	-	50	40	40	-
25. W. Ha.	27. 2. 33	54	$\frac{120}{75}$	60	54	40	40	-	60	36	36	-	62	34	35	+1	64	37	39	+2	54	40	40	-
26. M. Dr.	15. 12. 33	58	$\frac{130}{160}$	60	58	42	42	-	94	39	38	-1	86	35	35	-	59	40	41	+1	56	43	43	-
27. W. Gu.	21. 12. 38	49	$\frac{110}{70}$	70	49	40	39	-1	86	37	35	-2	88	37	36	-1	45	40	39	-1	49	42	40	-2
28. E. La.	25. 5. 39	54	$\frac{130}{80}$	70	54	40	40	-	94	35	35	-	55	36	37	+1	59	38	38	-	59	39	39	-
29. G. Ho.	11. 9. 36	60	$\frac{120}{60}$	75	60	40	40	-	84	34	34	-	86	32	34	+2	64	36	38	+2	62	38	40	+2
30. H. He.	13. 5. 37	56	$\frac{130}{75}$	75	56	39	39	-	94	36	36	-	88	35	35	-	58	38	38	-	58	41	40	-1

Puls in Minutenfrequenz, RR = Syst. u. diast. Blutdruck in mm/Hg
 QT und QH₂ in 1/100 sec., D = Differenz QT/QH₂, Watt = Watt/kg Körpergewicht

1) Tabellarische Zusammenstellung der Werte für

b) 30 untrainierte Versuchspersonen für bestimmte Zeitpunkte während der Leistung und Erholung:

Nr./Name	Geb. Datum	Puls			RR			Watt			Ruhe			1' Arbeit			3' Arbeit			1' Erholung			3' Erholung		
		Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D	Puls	QT	QH ₂	D
1. W. He.	7. 12. 28	68	110	90	68	39	39	-	106	35	35	-	112	33	33	-	76	36	37	+1	76	37	37	-	
2. K. Sp.	29. 4. 33	68	110	80	68	36	39	+3	104	33	34	+1	110	31	33	+2	76	33	37	+4	74	36	38	+2	
3. H. Pa.	9. 11. 33	84	140	80	84	33	33	-	108	32	32	-	116	31	31	-	110	31	31	-	98	31	31	-	
4. H. Tr.	13. 6. 40	96	135	90	96	30	31	+1	120	28	28	-	128	26	26	-	128	27	27	-	98	30	32	+2	
5. D. Br.	5. 3. 36	67	120	80	67	38	38	-	90	33	33	-	114	32	32	-	80	35	34	-1	76	39	38	-1	
6. H. Zi.	20. 3. 31	63	125	70	63	36	37	+1	108	32	33	+1	110	31	33	+2	78	35	35	-	76	36	36	-	
7. L. Tu.	16. 6. 40	65	110	75	65	35	37	+2	78	36	36	-	100	31	32	+1	100	33	34	+1	68	37	35	-2	
8. H. Pr.	7. 4. 34	70	130	70	70	34	37	+3	100	32	31	-1	106	32	31	-1	80	33	33	-	76	33	35	+2	
9. S. Vo.	21. 1. 36	66	150	80	66	37	37	-	120	33	31	-2	120	31	31	-	86	37	33	-4	76	37	35	-2	
0. W. Se.	21. 10. 31	60	120	60	60	37	37	-	72	32	32	-	78	32	33	+1	68	35	37	+2	66	37	38	+1	
1. H. Ob.	7. 3. 35	60	140	100	60	37	39	+2	84	32	32	-	92	31	31	-	72	35	37	+2	68	37	37	-	
2. W. Sch.	22. 6. 35	76	130	60	76	36	36	+3	110	30	32	+2	118	30	32	+2	94	31	33	+2	86	33	35	+2	
3. P. St.	13. 12. 35	84	130	60	84	32	35	+3	108	31	32	+1	116	29	29	-	90	31	32	+1	86	32	34	+2	
4. C. Ma.	13. 1. 35	72	125	85	72	37	37	-	88	35	35	-	94	35	35	-	84	35	35	-	76	36	36	-	
5. Br.	25. 6. 37	60	130	80	60	37	37	-	92	34	34	-	116	31	31	-	82	35	37	+2	78	37	37	-	

Puls in Minutenfrequenz, RR = Syst. u. diast. Blutdruck in mm/Hg

QT und QH₂ in 1/100 sec., D = Differenz QT/QH₂, Watt = Watt/kg Körpergewicht

Nr/Name	Geb. Datum	Tachy			Watt			Tachy			I syst. II			3. Arbeit			1. Tachy			3. Erholung			
		Puls	RR	Watt	Puls	QT	OH ₂	D	Puls	QT	OH ₂	D	Puls	QT	OH ₂	D	Puls	QT	OH ₂	D	Puls	QT	OH ₂
16. M. St.	19. 6. 36	66	115	70	64	3	35	-	104	28	33	-	106	28	28	-	74	32	32	-	66	34	34
17. W. Rel.	29. 9. 46	82	140	80	82	37	36	-1	84	25	3	-	104	30	31	+1	100	34	32	-2	86	36	34
18. G. Wei.	28. 7. 34	54	130	60	4	31	34	-	104	33	34	+1	104	31	32	+1	84	34	35	+1	76	34	34
19. G. Er.	21. 8. 34	70	135	70	50	5	37	-	40	34	34	-	94	33	32	-1	78	34	31	-	76	36	35
20. W. Tl.	10. 6. 32	68	140	75	68	36	36	-	91	34	34	-	96	33	33	-	78	35	37	+2	68	37	37
21. H. Ko.	14. 11. 35	83	115	76	83	34	33	-1	107	30	30	-1	120	32	30	-2	86	33	32	-1	86	35	34
22. W. Mi.	9. 7. 34	72	120	80	72	32	32	-	108	30	30	-	108	28	28	-	78	31	32	+1	76	62	64
23. W. Kr.	12. 4. 26	70	130	60	70	33	36	+3	104	30	32	+2	114	28	30	+2	78	34	36	+2	76	33	36
24. E. Pl.	15. 12. 34	66	120	70	66	38	38	-	100	33	34	+1	108	30	31	+1	70	32	33	+1	68	37	38
25. R. Bo.	28. 9. 31	70	130	60	70	32	32	-	108	30	31	+1	110	28	28	-	78	30	32	+2	76	34	36
26. J. Ha.	22. 4. 32	58	125	60	58	36	38	-	100	34	34	-	96	32	31	+2	68	36	37	+1	66	37	39
27. H. Sy.	15. 5. 25	70	135	90	70	35	35	-	120	31	31	-	118	30	30	-	84	32	32	-	78	34	34
28. D. Ga.	8. 3. 35	60	120	100	60	33	35	+2	96	31	31	-	94	28	30	+2	72	31	32	+1	68	34	36
29. H. Pu.	19. 5. 37	64	120	85	64	38	38	-	106	32	34	+2	110	30	32	+2	82	36	36	-	66	38	38
30. A. Kop.	14. 5. 37	72	135	85	72	35	35	-	110	30	31	+1	118	28	26	-2	88	31	31	-	76	34	32

Puls in Minutenfrequenz, RR = Syst. u. diast. Blutdruck in mm/Hg.

QT und QH₂ in 1/100 sec., D = Differenz QT/OH₂. Watt = Watt/kg Körpergewicht

2) Zusammenstellung der Differenzen zwischen elektrischer und mechanischer Systole in den einzelnen Ruhe- und Arbeitsphasen:

Trainierte	Ruhe		1' Arbeit		3' Arbeit		1' Ruhe		3' Ruhe	
VP	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
keine Differenz	18	60	18	60	20	66,7	12	40	15	50
Diff. b. + 0,02	8	26,7	6	20	9	30	15	50	9	30
Diff. b. - 0,02	3	10	4	13,3	1	3,3	2	6,7	4	13,3
Diff. b. + 0,04	1	3,3	2	6,7	-	-	1	3,3	2	6,7
Diff. b. - 0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diff. über + - 0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Untrainierte	Ruhe		1' Arbeit		3' Arbeit		1' Ruhe		3' Ruhe	
VP	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%	An- zahl	%
keine Differenz	18	60	17	56,7	14	46,7	10	33,3	12	40
Diff. b. + 0,02	5	16,7	10	33,3	12	40	15	50	11	36,7
Diff. b. - 0,02	2	6,7	3	10	4	13,3	3	10	6	20
Diff. b. + 0,04	5	16,7	-	-	-	-	1	3,3	1	3,3
Diff. b. - 0,04	-	-	-	-	-	-	1	3,3	-	-
Diff. über + - 0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Eine Differenz von 0,04 sec. zwischen ES und MS wurde in keiner der Arbeits- oder Ruhephasen überschritten, weder bei trainierten noch bei untrainierten Versuchspersonen.

3) Zusammenstellung der Mittelwerte für trainierte und untrainierte Versuchspersonen

Trainierte

Untrainierte

	Ruhe		1' Arbeit		3' Arbeit		1' Ruhe		3' Ruhe	
	QT	QH ₂	QT	QH ₂	QT	QH ₂	QT	QH ₂	QT	QH ₂
M = Mittelwert	39,8	40,3	35,1	35,4	34,5	34,8	37,3	38,3	39,7	40,2
σ^2	5,67	5,41	4,45	4,65	4,05	3,83	5,38	4,53	6,46	5,49
1 σ	2,38	2,33	2,11	2,16	2,01	1,96	2,32	2,13	2,54	2,34
2 σ	4,76	4,66	4,22	4,32	4,02	3,92	4,64	4,26	5,08	4,68
$\frac{\sigma}{M} \cdot 100$	6,0%	5,8%	6,0%	6,1%	5,8%	5,6%	6,2%	5,6%	6,4%	5,8%
σ Diff. $\sqrt{\sigma^2 M_1 + \sigma^2 M_2}$	3,32		3,02		2,81		3,15		3,46	
M = Mittelwert	35,1	35,8	32,1	32,4	30,5	30,6	33,2	33,8	35,1	35,5
σ^2	5,12	4,47	3,98	3,91	3,78	4,64	4,85	6,42	4,70	3,85
1 σ	2,26	2,11	1,99	1,98	1,94	2,15	2,20	2,50	2,17	1,96
2 σ	4,52	4,22	3,98	3,96	3,88	4,30	4,40	5,0	4,34	3,92
$\frac{\sigma}{M} \cdot 100$	6,44	5,89	6,20	6,11	6,36	7,03	6,23	7,40	6,18	5,52
σ Diff. $\sqrt{\sigma^2 M_1 + \sigma^2 M_2}$	3,10		2,81		2,90		3,36		2,92	

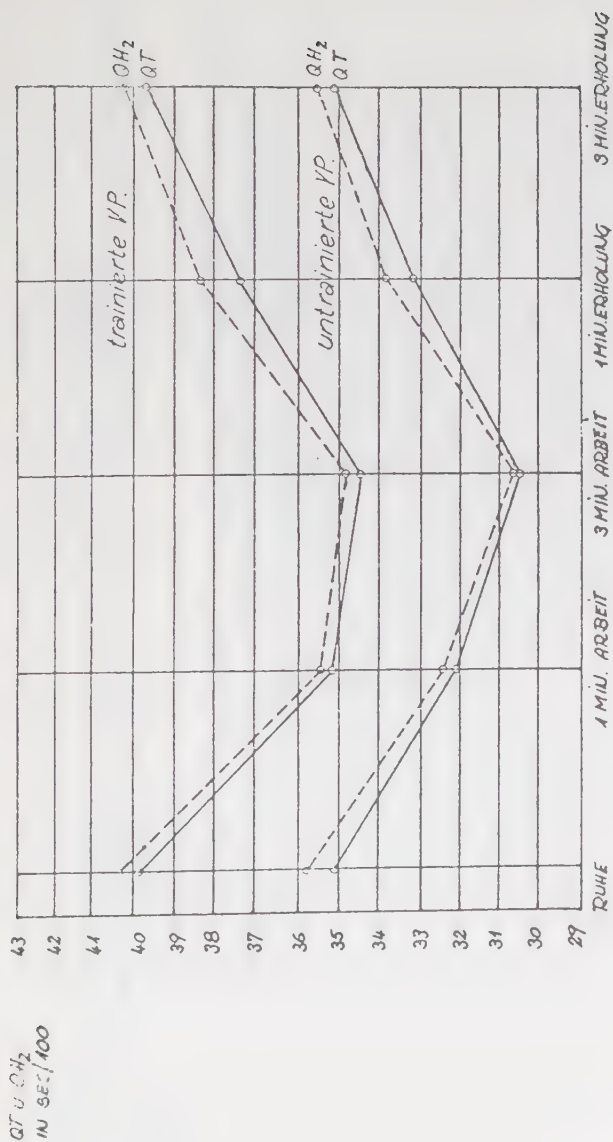


ABBILDUNG 1:

Graphische Darstellung der Mittelwerte der elektrischen Systole (QT) und der mechanischen Systole (QH₂) in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe, Leistung und Erholung bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen.

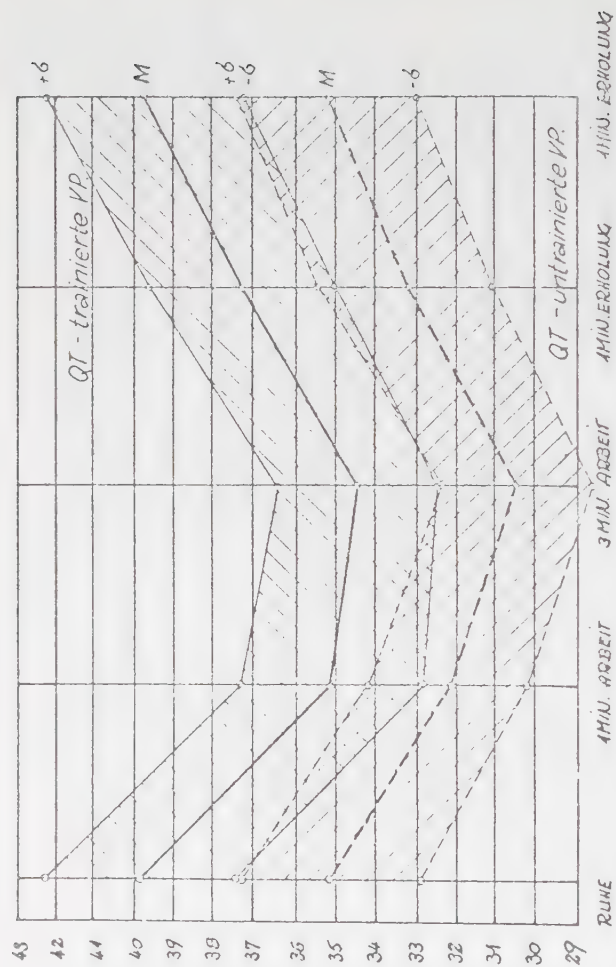


ABBILDUNG 2:

Graphische Darstellung der Mittelwerte der elektrischen Systole (QT) mit den $\pm 2\sigma$ -Grenzen in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe, Leistung und Erholung bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen.

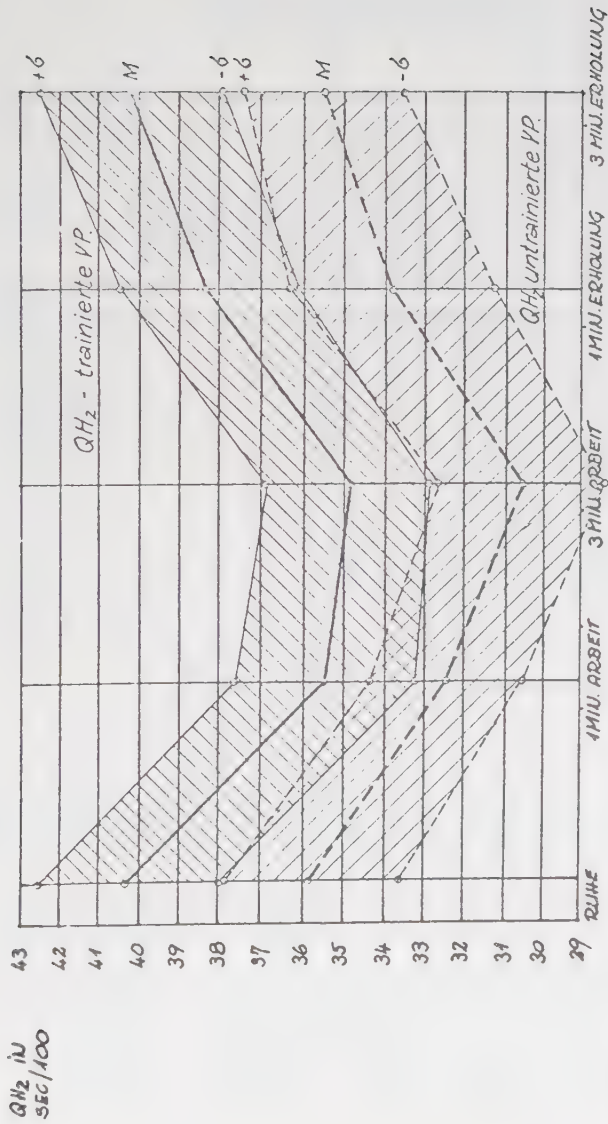


ABBILDUNG 3:

Graphische Darstellung der Mittelwerte der mechanischen Systole (QH_2) mit den $\pm \delta$ -Grenzen in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe, Leistung und Erholung bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen.

- 4) Errechnung der maximalen Verkürzung und der Verkürzung nach 1 Minute Arbeit der elektrischen und der mechanischen Systole für trainierte und untrainierte Versuchspersonen.

In beiden Versuchsgruppen trat mit Beginn einer Leistung eine Verkürzung der elektrischen (ES) und der mechanischen (MS) Systole ein.

a) Trainierte Versuchspersonen:

Durchschnittliche Verkürzung der elektrischen und mechanischen Systole nach 1 und 3 Minuten Arbeit:

	1 Min.	3 Min.
ES	0,047 sec.	0,053 sec.
MS	0,049 sec.	0,055 sec.

Das Maximum der Verkürzung wird nach der 3. Arbeitsminute erreicht. Die mechanische Systole verkürzte sich sowohl nach 1 Min. Arbeit als auch nach 3 Min. Arbeit um 0,002 sec. mehr als die elektrische.

Nach der 3. Arbeitsminute hatte die elektrische Systole eine Verkürzung von 13,3 %, die mechanische Systole eine Verkürzung von 13,7 % des Ruhewertes erreicht.

Nach der 1. Arbeitsminute werden bei der elektrischen Systole 88,7 % der Maximalverkürzung erreicht, bei der mechanischen Systole 89,1 %.

b) Untrainierte Versuchspersonen:

Durchschnittliche Verkürzung der elektrischen und mechanischen Systole nach 1 und 3 Min. Arbeit:

	1 Min.	3 Min.
ES	0,030 sec.	0,046 sec.
MS	0,034 sec.	0,052 sec.

Das Maximum der Verkürzung wird auch bei den Untrainierten nach der 3. Arbeitsminute erreicht. Die mechanische Systole verkürzt sich ebenfalls stärker als die elektrische und zwar nach 1 Min. Arbeit um 0,004 sec. und nach 3 Min. Arbeit um 0,006 sec.

Die maximale Verkürzung beträgt im Vergleich zum Ruhewert 13,1 % bei der elektrischen und 14,5 % bei der mechanischen Systole.

Nach 1 Min. Arbeit wird bei der elektrischen Systole 65,2 % und bei der mechanischen Systole 67,3 % der Maximalverkürzung erreicht.

Daraus ist deutlich erkennbar, daß sich das trainierte Herz wesentlich schneller auf eine geforderte Leistung einstellen kann.

- 5) Vergleich der Werte der elektrischen und mechanischen Systole nach 3 Minuten Erholung mit den Ruhewerten.
(ES = elektrische Systole; MS = mechanische Systole).

	Trainierte		Untrainierte	
	Anzahl	%	Anzahl	%
MS und ES erreichten den Ruhewert	10	33,3	5	16,8
MS und ES verkürzt	5	16,8	7	23,3
MS und ES verlängert	4	13,4	4	13,4
MS verkürzt	-	-	1	3,3
ES verlängert				
MS verlängert	1	3,3	-	-
ES verkürzt				
ES verkürzt	3	10,0	2	6,7
MS auf Ruhewert	3	10,0	1	3,3
ES verlängert				
MS auf Ruhewert	2	6,7	6	20,0
ES auf Ruhewert	2	6,7	4	13,4
MS verkürzt				
ES auf Ruhewert				
MS verlängert				

Bei den trainierten Versuchspersonen stimmen in 33,3 % elektrische und mechanische Systole in der zeitlichen Dauer während der Ruhe und nach 3 Minuten Erholung überein. In 30,2 % zeigten sie eine Abweichung von 0,01 sec.

Bei den Untrainierten wurden in 16,8 % die Ausgangswerte erreicht. In 23,3 % bestand eine Verkürzung beider um durchschnittlich 0,02 sec. und in 13,4 % wurde eine Verlängerung der ES und der MS um durchschnittlich 0,01 sec. gefunden.

Nach Beendigung einer Leistung kehren also die elektrische und mechanische Systole bei den Trainierten wesentlich schneller auf die Ausgangswerte zurück.

- 6) Herzfrequenzabhängigkeit der elektrischen und mechanischen Systole in bestimmten Zeitpunkten der Ruhe und Leistung.

Wie in der Einleitung erwähnt wurde, ist bekannt, daß die zeitliche Dauer der elektrischen und der mechanischen Systole von der Herzfrequenz abhängig ist. Mit steigender Herzfrequenz tritt eine Verkürzung ein.

- Zusammenstellung der Mittelwerte von QT und QH_2 bezogen auf die Herzfrequenz.
- Graphische Darstellung der frequenzbezogenen Mittelwerte von QT und QH_2

in Ruhe im Vergleich zu den Mittelwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN^{7, 10}, Abb. 4, Abb. 5.

- c) Graphische Darstellung der frequenzbezogenen Mittelwerte von QT und QH₂ bei maximaler Verkürzung nach der 3. Arbeitsminute mit den Normwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN^{7, 10}, Abb. 6, Abb. 7.

- a) Mittelwerte der elektrischen und mechanischen Systolendauer bezogen auf die Herzfrequenz.

Werte für untrainierte Versuchspersonen:

Ruhewerte :

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
50 - 59	1	58	38	38
60 - 69	14	64	36	37
70 - 79	10	72	34	35
80 - 89	4	83	33	33
90 - 100	1	96	30	31

Werte nach 1 Min. Arbeit:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
70 - 79	2	75	34	34
80 - 89	3	86	34	34
90 - 99	5	92	33	33
100 - 109	15	105	32	32
110 - 119	5	116	30	31

Werte nach 3 Min. Arbeit:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
70 - 79	1	78	32	33
90 - 99	6	94	32	32
100 - 109	7	105	30	30
110 - 119	13	114	29	31
120 - 129	3	123	29	29

Werte nach 1 Min. Ruhe:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
60 - 69	2	68	36	37
70 - 79	12	76	33	34
80 - 89	10	84	34	34
90 - 99	2	92	31	33
100 - 109	2	100	34	33
110 - 119	1	110	31	31
120 - 129	1	128	27	27

Werte nach 3 Min. Ruhe:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
60 - 69	9	67	36	37
70 - 79	15	76	35	36
80 - 89	4	86	34	34
90 - 99	2	98	31	32

Werte für trainierte Versuchspersonen:

Ruhewerte:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
40 - 49	6	46	42	42
50 - 59	18	55	40	40
60 - 69	6	62	38	38

Werte nach 1 Min. Arbeit:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
50 - 59	1	58	34	37
60 - 69	13	63	35	35
70 - 79	2	79	34	36
80 - 89	8	84	35	35
90 - 99	6	94	36	36

Werte nach 3 Min. Arbeit:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
50 - 59	2	57	35	36
60 - 69	7	67	33	34
70 - 79	2	76	35	35
80 - 89	16	85	35	35
90 - 100	3	97	34	34

Werte nach 1 Min. Ruhe:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
40 - 49	1	45	40	39
50 - 59	13	55	37	39
60 - 69	13	62	35	39
70 - 79	2	77	37	37
80 - 89	1	86	36	38

Werte nach 3 Min. Ruhe:

Frequenz- klassen	Zahl der Fälle	Mittlere Frequenz	Mittlere QT	Mittlere QH ₂
40 - 49	4	46	43	43
50 - 59	19	55	40	40
60 - 69	7	62	37	38

b)

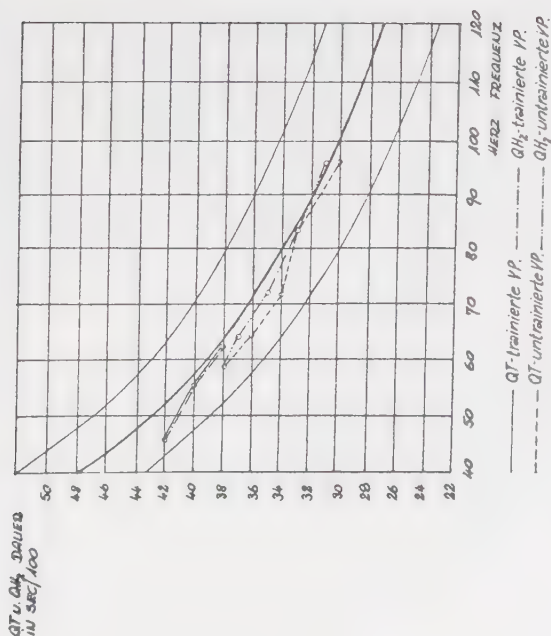


ABBILDUNG 4:

Darstellung der frequenzbezogenen Mittelwerte von QT und QH₂ in Ruhe im Vergleich zu den Mittelwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷, 10 für trainierte und untrainierte Versuchspersonen.

QT u. QH₂ DAUER
IN SEC/100

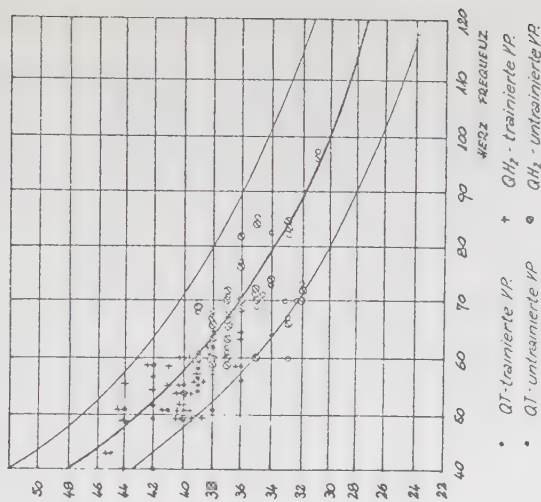


ABBILDUNG 5:

Darstellung der frequenzbezogenen Einzelwerte von QT und QH₂ in Ruhe im Vergleich zu den Minimal- und Maximalgrenzen der QT-Dauer nach HEGGLIN u. HOLZMANN⁷, 10 für trainierte und untrainierte Versuchspersonen.

QT u. QH₂ Dauer
in sec/100

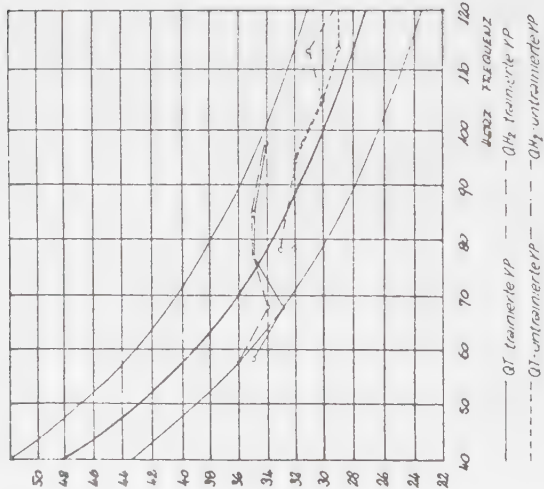


ABBILDUNG 6:

Darstellung der frequenzbezogenen Mittelwerte von QT und QH₂ nach 3 Minuten Arbeit im Vergleich zu den Mittelwerten von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷, 10 für trainierte und untrainierte Versuchspersonen.

QT u. QH₂ Dauer
in sec/100

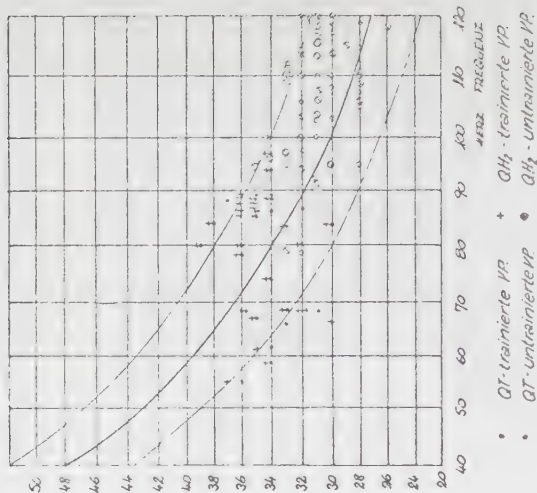


ABBILDUNG 7:

Darstellung der frequenzbezogenen Einzelwerte von QT und QH₂ nach 3 Minuten Arbeit im Vergleich zu den Minimal- und Maximalgrenzen der QT-Dauer von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷, 10 für trainierte und untrainierte Versuchspersonen.

V) BEURTEILUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Es wurden die Mittelwerte und die $\pm 2\sigma$ -Grenzen der elektrischen und mechanischen Systole während und nach bestimmter ergometrischer Leistung bei je einem Kollektiv trainierter und untrainierter männlicher Versuchspersonen der Altersklasse 20 - 40 Jahre gemessen und berechnet. Werte, die in Ruhe, während der Leistung und der Erholung außerhalb dieser Grenzen liegen, können nicht mehr als physiologisch angesehen werden.

Pathologische Veränderungen der elektrischen und der mechanischen Systole können möglicherweise während und nach der Leistung früher erkennbar werden als in Ruhe. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollen eine Bezugsbasis für die Erkennung pathologischer Veränderungen der elektrischen und der mechanischen Systole während und nach einer bestimmten ergometrischen Leistung geben.

Ein Vergleich der elektrischen und mechanischen Systole bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen zeigt, daß die Trainierten bei kleineren Herzschlagfrequenzen eine längere zeitliche Dauer der elektrischen und mechanischen Systole haben. Alle Werte liegen jedoch im Bereich der Normalgrenzen von HEGGLIN u. HOLZMANN⁷. Die Differenzen sind kleiner als 3 σ Diff. und können deshalb nicht als statistisch signifikant angesehen werden.

Bei Leistungsbeginn verkürzen sich die Systolen der Trainierten bei früherer Anpassung an die geforderte Leistung schneller als die der Untrainierten. Das kann als meßbarer Ausdruck der größeren regulativen Leistungsfähigkeit des trainierten Kreislaufs angesehen werden. Eine Erklärung hierfür kann auch die geringere Faserverkürzung geben, die beim größeren "dilatierten" Leistungsherz für eine gleiche Volumenarbeit erforderlich ist. Auch in der Erholung nach einer Leistung zeigen die trainierten Versuchspersonen eine schnellere Rückkehr zu den Ruhewerten. Das zeigt sich wie bei anderen physiologischen Funktionen auch bei der Auswertung der elektrischen und mechanischen Systole.

VI) ZUSAMMENFASSUNG

- 1) Die Dauer der elektrischen und der mechanischen Systole ist während und nach einer ergometrischen Leistung von 1 Watt/kg Körpergewicht an 30 trainierten und 30 untrainierten männlichen 20-40-jährigen Personen gemessen worden.
- 2) Die Mittelwerte, die mittlere quadratische Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert () sowie die 2 σ -Grenzen wurden für bestimmte Zeitpunkte während der Leistung und der Erholung errechnet und graphisch dargestellt.
- 3) Die 2 σ -Grenzen (in Übereinstimmung mit dem Committee on the Handbook of Biological Data) geben eine definierte Basis für die Erkennung pathologischer Abweichungen der elektrischen und der mechanischen Systole während und nach einer Leistung von 1 Watt/kg Körpergewicht bei bestimmten Alters- und Geschlechtsgruppen. Pathologische Veränderungen der elektrischen und der mechanischen Systole, die in Körperruhe nicht erkennbar sind, können während körperlicher Leistung messbar werden.
- 4) Elektrische und mechanische Systole sind bei trainierten Personen während und nach der Leistung von 1 Watt/kg durchschnittlich länger als bei untrainierten. Die Unterschiede sind jedoch nicht statistisch signifikant.
- 5) Die maximale Verkürzung beider Systolen wird in beiden Versuchsgruppen am Ende der 3. Leistungsminute erreicht. Die Trainierten erreichen nach der 1. Arbeitsminute bereits 88,7 % der Maximalverkürzung der elektrischen Systole und 89,1 % der Maximalverkürzung der mechanischen Systole.

Die untrainierten Versuchspersonen erreichen nach der 1. Arbeitsminute nur 65,2 % der Maximalverkürzung der elektrischen Systole und 67,3 % der Maximalverkürzung der mechanischen Systole.
- 6) 33,3 % der Trainierten hatten nach der 3. Minute Erholung die Ausgangswerte der elektrischen und mechanischen Systole erreicht, von den Untrainierten 16,8 %.
- 7) Die von uns gemessenen Mittelwerte der elektrischen und mechanischen Systole liegen im Bereich der Normwerte von HEGGLIN und HOLZMANN⁷. Dies gilt für Trainierte und Untrainierte. Während einer Frequenzsteigerung durch Leistung kommt es zu einer Verkürzung beider Systolen. Auch diese Werte liegen innerhalb der Normwerte von HEGGLIN und HOLZMANN⁷.
- 8) Die zeitliche Differenz der elektrischen und mechanischen Systole überschreitet in beiden Versuchsgruppen in Ruhe, während und nach einer Leistung nicht $\pm 0,04$ sec.

VII) LITERATURANGABEN

- 1) Beurich, H. u. H. Maaß: Arch. Kreisl. forsch. 15, 224-249, (1949)
- 2) Blumberger, K. : Verh. Dtsch. Ges. Kreisl. forsch. , Dresden 12, 149 (1939)
- 3) Borter, W. u. P. Müller: Cardiologia 27, 194-201 (1955)
- 4) Grosse-Brockhoff, F. u. A. Strontmann: Zschr. Exp. Med. 48, 227 (1936)
- 5) Hegglin, R. : Klinik der energetisch-dynamischen Herzinsuffizienz, Karger, Basel, 1947
- 6) Hegglin, R. : Schweiz. med. Wschr. 71, 97 (1941)
- 7) Hegglin, R. u. M. Holzmann: Zschr. klin. Med. 132, 1-32 (1937)
- 8) Herkel, W. u. W. Nürnberger: Verh. Dtsch. Ges. Kreisl. forsch. , Dresden 12, 143-151 (1939)
- 9) Herzum, A. : Zschr. Kreisl. forsch. 23, 162-174 (1940)
- 10) Holzmann, M. : Klinische Elektrokardiographie, Thieme, Stuttgart, 1955, S. 85
- 11) Jaager, M. u. W. Borter: Arch. Kreisl. forsch. 27, 305-333 (1957)
- 12) Kühns, K. : Cardiologia, 23, 305-317 (1953)
- 13) Kühns, K. : Klin. Wschr. 30, 695 (1952)
- 14) Lepeschkin, E. : Amer. Haert J. 46, 9 (1953)
- 15) Mellerowicz, H. : Ergometrie, Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin, 1962
- 16) Schaefer, H. : Das Elektrokardiogramm, Theorie u. Klinik, Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1951
- 17) Schütz, E. : Verh. Dtsch. Ges. Kreisl. forsch. , Dresden 12, 151 (1939)

LEBENS LAUF

Als dritte Tochter des prakt. Arztes Dr. med. Johannes Uhlig und seiner Ehefrau Elise Uhlig, geb. Oehme wurde ich am 23. 11. 1932 in Pirna/Sachsen geboren.

1939 - 1943 besuchte ich die Volksschule für Mädchen in Pirna. Anschließend die Oberschule für Mädchen ebenfalls in Pirna. Meine Schulzeit beendete ich 1951 mit der Reifeprüfung.

1951 - 1954 studierte ich an der Pädagogischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin Leibeserziehung. Nach dem Staatsexamen im Frühjahr 1954 als Sportlehrerin setzte ich im Herbst 1954 mein Studium an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin fort. 1961 legte ich das Staatsexamen für Medizin ab.

Im gleichen Jahr heiratete ich den prakt. Tierarzt Dr. Georg Witzmann.

Als Medizinalassistentin war ich von 1961 - August 1963 im Stadtkrankenhaus Memmingen tätig. Am 30. August 1963 erhielt ich die Approbation und arbeite jetzt als Assistenzärztin im Memminger Stadtkrankenhaus.

